

Ansprüche an die Schalung im Baubetrieb bei Verwendung von SCC

29

DI Peter Reisinger

Technischer Leiter Westeuropa,
Österreichische Doka Schalungstechnik GmbH

Der „Allesproblemlöser“ SCC ist in aller Munde. Hält er das, was er verspricht?

Selbstverdichtender Beton gemäß ÖNORM B4710-1 und ÖVBB-Merkblatt Selbstverdichtender Beton (SCC) ist im Gegensatz zu herkömmlich verdichtetem Normalbeton ein Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet und jeden Hohlraum innerhalb der Schalung und Bewehrung ausfüllen soll.

1 Anwendungen von SCC in Ortbetonbauweise

Selbstverdichtende Betone werden grundsätzlich dann eingesetzt, wenn das Wegfallen von Rüttelarbeiten Vorteile bringt, wie z. B. (siehe Abb. 1–4):

- eng bewehrte Bauteile, wo eine Verdichtung mit Innen- oder Außenrüttlern nicht möglich ist
- Strukturbeton, wo eine bestimmte architektonisch modellierte Oberfläche gewünscht ist
- schlanke, filigrane Bauteile, um eine volle Befüllung des Betonkörpers zu gewährleisten
- schräge Bauteile

- Bauteile mit vielen Öffnungen
- Tunnelbau nur bedingt (wegen hoher Schalungsdrücke) und aufwändige Abdichtungsmaßnahmen
- Sanierungen im Bestand und Vorsatzbeton

Die Anwendungen im Fertigteilwerk werden hier nicht behandelt.

2 Normen und Richtlinien

Aufgrund der intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf dem Gebiet der SCC-Betontechnologie und des raschen, aber auch uneinheitlichen Fortschritts des Standes der Technik ist noch keine endgültige Norm ausgearbeitet worden. Es gibt jedoch sehr brauchbare und praxisorientierte Richtlinien und Merkblätter im mitteleuropäischen Raum:

- The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, May 2005, www.efca.info, www.efnarc.org
- Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Merkblatt Selbstverdichtender Beton (SCC), Ausgabe Dezember 2002, office@ovbb.at, www.concrete-austria.com

- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., DBV-Merkblatt Selbstverdichtender Beton (SVB), Ausgabe Dezember 2004, www.betonverein.de, info@betonverein.de

In diesen Merkblättern wird auch das Schalungsthema behandelt, welches in der Folge noch näher erläutert wird.

3 Die für die Schalung relevanten Eigenschaften

Aufgrund der betontechnologischen Eigenschaften ergeben sich für die Schalung folgende Auswirkungen:

1. Höherer Schalungsdruck aufgrund fehlender innerer Reibung im Frischbetonzustand
2. Auftriebskräfte und Neigung zum Ausbluten auch bei kleineren Öffnungen in der Gussform aufgrund der extremen Fließfähigkeit (Gefügestabilität)
3. Genaues Abzeichnen der Oberflächenstruktur der Schalung
4. Keine Eigenstabilität der frisch betonierten Wand durch Ansteifen des Betons

All das bedingt einen sorgfältigen Umgang mit der Schalung – von der Planung bis zur Ausführung.

Abb. 1: Hoher Bewehrungsgrad



Abb. 2: Schlanke und schräge Bauteile



Abb. 3: Viele Öffnungen



Fotos: © Doka GmbH

Abb. 4: Im Bestand



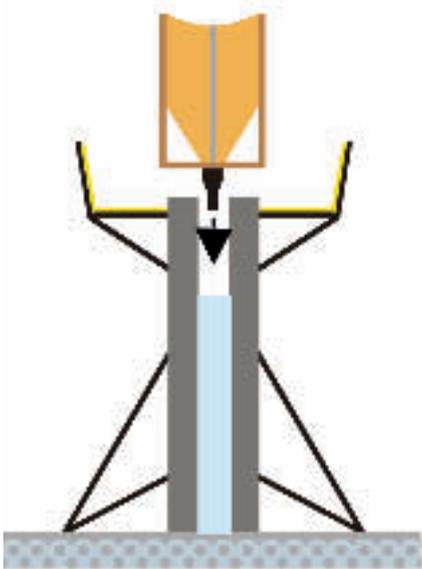


Abb. 5: Befüllen von oben
Grafiken: © Doka GmbH

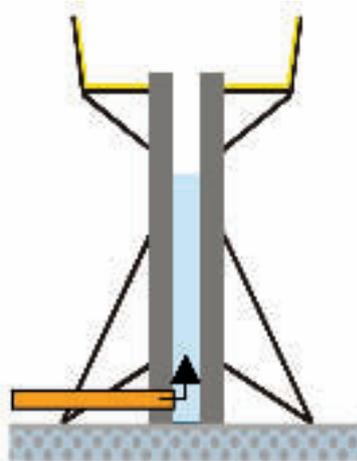


Abb. 6: Einpumpen von unten

3.1 Schalungsdruck

Immer wieder treten Schalungs- bzw. Ankerstabversagen sowie große Deformationen bei der Herstellung von hohen Wänden mit SCC auf. Die Diagramme in DIN 18218 ergeben zu geringe Betondrücke für die neuen fließfähigen Betone.

In vielen Versuchsbetonierungen in Labors und auf Baustellen mit unterschiedlichen selbstverdichtenden Betonen wurden voneinander abweichende Schalungsdrücke gemessen. Dies liegt zum einen an den unterschiedlichen Eigenschaften der Betone im bewegten Einfüllzustand bzw. im unbewegten Frischbetonzustand und hängt zum anderen von den uneinheitlichen Versuchsbedingungen (Messmethoden) ab.

Es werden grundsätzlich zwei Einbringungsarten bei nach oben offenen Bauteilen unterschieden:

Befüllen von oben

Bei der Befüllung von oben ist der Frischbetondruck durch die Betoniergeschwindigkeit steuerbar. Dabei führen extrem hohe Betoniergeschwindigkeiten zu fast hydrostatischen Frischbetondrücken.

Wände mit SCC werden sehr schnell betoniert (z. B. 6 m in 10 Minuten). Daher kann nicht sichergestellt werden, dass die unten liegenden Schichten schon zum Abbinden beginnen und noch flüssig sind.

Messungen haben ergeben, dass bei bestimmten Betonen der hydrostatische Druck nicht erreicht wird. Reduktionen dieses Schalungsdruckes können aber nur gemacht werden, wenn die Betoneigenschaften genau bekannt sind, entsprechend geprüft wurden und die Einbaubedingungen konstant gehalten werden.

Andere Erschütterungen auf der Baustelle (Nachrütteln am Ende des Betonierens, Einschalten der Betonpumpe in der Nähe oder schlichtes Vorbeifahren eines schweren LKW) können den thixotropen SCC wieder verflüssigen und den vollen hydrostatischen Druck ergeben. Schadensfälle nach Beendigung des Betoniervorganges zeigen diesen Mechanismus deutlich auf. Das heißt, dass die Schalung prinzipiell auf den vollen hydrostatischen Druck zu bemessen ist. Abweichungen davon sind gesondert zu prüfen.

Es empfiehlt sich dringend, die Entscheidung über die Einbaumethode und das daraus resultierende Konzept für Schalung

und Baubetrieb in einem gemeinsamen Gespräch zwischen bauausführender Firma, dem Betonlieferanten, -technologien und Schalungslieferanten festzulegen. (Siehe Abb. 5)

Einpumpen von unten

Das Einpumpen von unten bringt gewisse arbeitstechnische Erleichterungen mit sich. Weiters wird keine zusätzliche Grobluft in den Frischbeton eingebracht. Gute Erfahrungen mit dem problemlosen Pumpen bis 6 m Höhe liegen vor. Diese Einbaumethode bringt mit sich, dass der Frischbeton ständig in Bewegung ist. Somit ist hier immer der hydrostatische Betondruck für die Schalungsbemessung anzusetzen. Lokal begrenzte höhere Drücke können in der Nähe des Einfüllstutzens entstehen, speziell beim Wiederanfahren nach einer Betonierunterbrechung. Es wurden aus diesem Titel heraus jedoch keine Schäden berichtet.

In der amerikanischen Literatur erwähnte Aufschläge für dynamische Kräfte bzw. Pumpendruck sind nicht nachvollziehbar. Die europäische Erfahrung zeigt, dass auch bei dieser Einfüllmethode der Ansatz von hydrostatischem Schalungsdruck für die Schalungsbemessung ausreichend ist.

Als Alternative wird auch folgende Methode auf Baustellen recht erfolgreich angewendet: Drucküberwachung durch Messungen mittels Druckmessdosen und entsprechendes Anpassen der Betoniergeschwindigkeit. (Siehe Abb. 7 und 8)

3.2 Auftriebskräfte und Neigung zum Ausbluten

Aufgrund der enormen Fließfähigkeit (freie Fließstrecken von mehr als 8 m sind bekannt) ist sorgfältig darauf zu achten, dass der Beton in der gewünschten Schalungsform bleibt – diese muss also dichter sein als sonst üblich.

Bei horizontalen und auch schrägen Flächen (Ausparungen/Rahmenprofil) drückt der Beton nach oben bzw. normal auf diese Fläche und muss mit vollem Flüssigkeits-



Abb. 7: Kombination von Einpumpen von unten und Befüllen von oben



Abb. 8: Druckmessdose

druck gerechnet werden (siehe Abb. 9). Daher sind Aussparungskästen im unteren Bereich entsprechend stärker an der Schalung zu fixieren.

Dieser Effekt tritt auch bei kleinen Flächen einer Rahmenschalung auf (Unterkriechen) und hebt die Schalung tatsächlich nach oben, weshalb die Schalung gegen Auftrieb zu sichern ist (Siehe Abb. 10).

Die Dichtheit der Schalungsform muss auch bei Elementstößen sichergestellt sein. Auch Ankerlöcher und kleinere Öffnungen in der Schalhaut müssen abgedichtet sein, um ein Ausbluten dieses flüssigen Betons zu verhindern.

Sorgfältige Abdichtungsmaßnahmen im Aufstandsbereich und bei vertikalen Arbeitsfugen speziell im Bereich der Bewehrungs-

Abb. 9: Voller Flüssigkeitsdruck

Grafik: © Doka GmbH

Abb. 10: Auftriebssicherung, Messeinrichtung

Fotos: © Doka GmbH

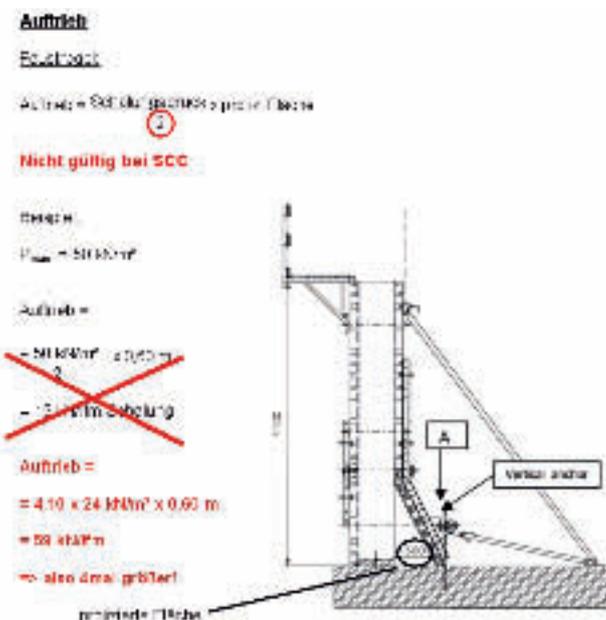




Abb. 11: Ankerloch unabgedichtet / abgedichtet
Fotos: © Doka GmbH



Abb. 12: Dichtringe für Ankerkonen



Abb. 13: Saubere Elementstöße (Schalung – Beton)



Abb. 14: Abdichtung mit Dichtsnur im Aufstandsereich



Abb. 15: Vertikale Arbeitsfugen mit Bewehrungsdurchführung

Abb. 16: Sauberer Abschluss mit Dichtsnur



durchführung sind im Schalungskonzept vorzusehen (siehe Abb. 11 – 16).

Die enorme Fließfähigkeit stellt auch bei bergmännischen Tunneln ein Problem dar. Die Gespärreeinheiten können entsprechend stark oder eng ausgebildet werden (Wirtschaftlichkeit), aber viel Beton geht verloren, wenn man die Abschalungen nicht dicht bekommt (Abschalung mit z. B. aufblasbaren Gummischläuchen).

Robuster SCC (Gefügestabilität) ist auch fähig, bei Streckmetall-Abschalungen in Form zu bleiben. Bei Ortbetondecken kann jedoch das Phänomen auftreten, dass sich über eine längere freie Fließstrecke die größeren Körner absetzen und nur noch der Betonmörtel bis zur Deckenrandabschalung kommt und dort durch das Streckmetall nicht gestoppt wird.

3.3 Abzeichnen der Oberflächenstruktur der Schalung

SCC verlangt eine sehr hohe Oberflächenqualität der Schalhaut. Kratzer, Nagellöcher, Bohrungen, Hammerspuren und Rüttlerdellen etc. zeichnen sich deutlich ab. Prinzipiell sind alle gebräuchlichen Schalhäute SCC-geeignet. Bei Einzelbrettern sind das Austrocknen und der entstehende Zwischenraum zu beachten. Unbeschichtete OSB-Platten sind nicht zu empfehlen. Für sichtbar bleibende Betonflächen ist mit einer erhöhten Schalungspflege bzw. bei entsprechenden Anforderungen mit früherem Schalungwechsel zu rechnen. Die Eignung des Zusammenwirkens von Beton, Trennmittel und Schalung sollte speziell bei Sichtbeton vorher geprüft werden.

3.4 Stabilität der Schalung

Durch die hohe Steiggeschwindigkeit kann bei einer frisch betonierten Wand mit keiner Eigenstabilität gerechnet werden. Es sind daher ausreichende Abstützungsmaßnahmen für die Schalung durchzuführen.

4 Betoneinbringung von SCC

Wie schon in Kapitel 3.1 beschrieben kann von oben mit Krankübel, Pumpe oder Schüttröhren bzw. von unten mittels Pumpe SCC eingebracht werden. Dabei ist besonders auf ein kontinuierliches Arbeiten zu achten. Vor dem Einbringen des Betons ist eine Schalungsabnahme durchzuführen, bei der vor allem Dichtigkeit und ausreichende Aussteifung der Schalung überprüft werden. Es ist sinnvoll, während der Betonage die Dichtheit der Schalung zu kontrollieren.

Da im oberen Wandbereich die Auflast durch Betongewicht fehlt, können zur Vermeidung von Lunkern beim letzten halben Meter mittels Stochern eingeschlossene Luftblasen ausgetrieben werden.

Bei längeren Betonierpausen (bereits ab wenigen Minuten) bildet sich eine so genannte Elefantenhaut, welche sich später an der Wand abzeichnet. Dies lässt sich am besten durch lückenlose Belieferung vermeiden, ansonsten besteht auch die Möglichkeit durch Stochern die alte und neue Betonschicht zu durchmischen.

Beim Einbringen in allseits geschlossene Schalungen (Tunnel, Deckelbauweise, Stützen oder Unterzugsverstärkungen im Bestand) sind ausreichend Sichtfenster und Entlüftungsmöglichkeiten vorzusehen.



Abb. 17: Streckmetall ...



Abb. 18: ... bei robustem SCC

Die betontechnologischen Eigenschaften von SCC sind auch stark temperaturabhängig (aufgrund der eingesetzten Fließmittel auf PCE-Basis). Der richtige Zeitpunkt (Temperaturintervall) der Betoneinbringung ist daher unbedingt mit dem Betonlieferanten abzustimmen.

Ein möglichst langsamer Betoneinbau wirkt sich positiv auf die Entlüftung des Betons und damit auf die Oberflächenqualität aus. Die Eignung des Trennmittels ist zuvor unter Baustellengegebenheiten zu untersuchen. Jedenfalls ist es gleichmäßig und sehr dünn (< 10 g/m²) aufzutragen.

Stahl-Rahmenschalung mit Ankersystem 15,0 mm (120 kN), P_{max} = 60 kN/m²

Bis zu einer Betonierhöhe von 3,30 m sind keine Sondervorkehrungen nötig, da sowohl beim Ansetzen des hydrostatischen Drucks die zulässigen Querschnittskräfte in den Elementprofilen als auch die zulässigen Werte für die Ankerzugkraft bei keiner Elementkombination überschritten werden.

Höhere Drücke sind durch Reduzieren der Elementgrößen/-breiten (mehr Schalungsanker pro m²) erreichbar. Stärkere Anker bringen keinen Vorteil, da stets das Rahmenprofil des Schalungselementes maßgebend ist (Biegesteifigkeit). Eine Schalungsdopplung ab 4 m Höhe zur Einhaltung von Ebenheitsanforderungen wird empfohlen.

Für die richtige Bemessung und Anwendung von Doka-Systemschalungen stehen Ihnen die Doka-Schalungstechniker gerne zur Verfügung. Als Hilfestellung dazu können Sie ein technisches Rundschreiben zum Thema „Auswahl von Schalungen für selbstverdichtenden oder sehr fließfähigen Beton“ bei Ihrer nächsten Doka-Niederlassung anfordern.

5 Verwendung von Systemschalungen für SCC

Die zulässigen Frischbetondrücke P_{max} von Systemschalungen variieren von 40–90 kN/m². Maßgeschneiderte Objektschalungen können bis 240 kN/m² ausgeführt werden.

Nachfolgend ein Beispiel: (siehe Abb. 21 und 22)



Abb. 19: Einbringen durch Einfüllstützen

Abb. 21: Zulässige Betonierhöhen (ohne besondere Maßnahmen) für Doka-Systemschalungen

Schalungssystem (alle Elementbreiten)	Zul. Ankerzugkräfte ø 15,0	
	D: 90 kN	Ö, CH: 120 kN
Stahl-Rahmenschalung	2,70 m	3,30 m
Aluminium-Rahmenschalung	2,70 m	2,70 m
System-Trägerschalung	3,25 m	3,25 m
Rundschalung	3,00 m	3,30 m



Abb. 20: Einfüllstützen in der Systemschalung integriert
Fotos: © Doka GmbH

Abb. 22: Zulässige Betonierhöhen bei Verwendung kleinerer Rahmen-Elemente

	Max. Elementbreite	Zul. Ankerzugkräfte		
		ø 15,0 D 90 kN	ø 15,0 Ö, CH 120 kN	ø 20,0 Ö, CH 150 kN
Framax Xliffe	135 cm	2,70 m	3,30 m	3,30 m
	90 cm	3,70 m	3,80 m	4,05 m
	60 cm	5,30 m	5,60 m	5,70 m
	45 cm	6,75 m	7,00 m	7,50 m
	30 cm	10,00 m	11,00 m	11,40 m
Alu-Framax Xliffe	90 cm	2,70 m		
	75 cm	3,00 m		
	60 cm	3,30 m		
	45 cm	4,40 m		
	30 cm	6,30 m		



Abb. 23: Vor dem Betonieren



Abb. 24: Zu breite Elemente und zu kleine Ankerplatte



Abb. 25: Rahmenprofil überlastet

Folgendes Beispiel zeigt die Auswirkungen bei „Nichtbefolgung dieser Regeln“ (zu große Einflussfläche auf die Ankerstelle und auf das Rahmenprofil). Hier wurde zudem eine systemfremde Ankerplatte (zu kleine Auflagerfläche) verwendet.

$H = 5,95 \text{ m}$, $V = 7 \text{ m}^3$

(siehe Abb. 23–25)

6 Verwendung von Objektschalungen für SCC

Eine Objekt-Trägerschalung bestehend aus Schalhaut, Holzschalungsträger, Stahlwandriegel und Ankerstäben kann dem Bemessungs-Schalungsdruck angepasst werden. Eine technische Grenze wird bei ca. 240 kN/m^2 (= ca. 10 m Betonierhöhe) erreicht.

Die Wirtschaftlichkeit ist projektbezogen abzuwägen. Hier sind jedenfalls Schalungsspezialisten beizuziehen.

7 Referenzprojekte

Doha Beach Villa, Qatar (2005):

Aufgrund der Bauwerksgeometrie ist das Einbringen und Verdichten von Normalbeton nicht möglich.

Konzerthaus Wien:

Bauen im Bestand

Seebad Kaltern, Südtirol (2005):

Hoher Bewehrungsgrad, unzugänglich für Innenrüttler

Traisenbrücke, St. Pölten:

Extrem hoher Bewehrungsgrad

Abb. 26: Einzelement, Phaeno Science Center, Wolfsburg

Abb. 27: Eingerichtete Schalung, Phaeno Science Center, Wolfsburg
Fotos: © Doka GmbH





Abb. 28: Doha Beach Villa, Qatar



Abb. 29: Doha Beach Villa, Qatar

8 Zusammenfassung

Wie die Ausführungen zeigen, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, wo selbstverdichtender Beton eine gute technische und wirtschaftliche Alternative darstellt. Unter Berücksichtigung der betontechnologischen Eigenschaften von SCC können immer wieder schalungstechnische Antworten auf diese Herausforderung gefunden werden.

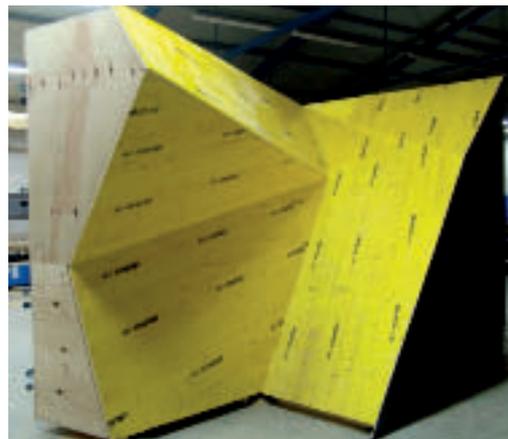


Abb. 30: Seebad Kaltern, Südtirol (2005)



Abb. 31: Seebad Kaltern, Bewehrung

Abb. 32: Umbau Konzerthaus, Wien

Fotos: © Doka GmbH

Abb. 33: St. Pölten, Traisenbrücke

